ROMANIA
RENEL
REGIA AUTONOMA DE ELECTRICITATE

CENTRUL DE FORMARE PROFESIONALĂ



Tudora V.

TRANSFORMATOARE ELECTRICE

Ept 1-6

1995

1. ROLUL TRANSFORMATORULUI

Transformatorul este destinat să transforme un curent alternativ dat într–un alt curent de aceeaşi frecvenţă, dar de tensiune diferită.

Transportul energiei electrice la distanţă se face cu pierderi de energie a căror valoare este direct legată de tensiunea reţelei.

Se ştie că pierderile sunt proporţionale cu pătratul intensităţii curentului.

Dacă puterea P este transportată la tensiunea U_1 rezultând un curent I_1 şi o pierdere în linie p_1, în cazul transportului aceleaşi puteri la o tensiune U_2 de K ori mai mare ($K = \frac{U_2}{U_1}$), curentul I_2 fiind mai mic în acelaşi raport, rezultă o pierdere de putere.

$$p_2 = \frac{p_1 I_2^2}{I_2^2}$$

Tinând cont că $I_2 = \frac{I_1}{K}$, pierderea de putere devine: $p_2 = p_1 \frac{1}{K^2}$, adică este invers proporţională cu pătratul raportului dintre cele două tensiuni (raportul de transformare).

Intrucât producţia de energie electrică se realizează la tensiuni medii (tensiunea la bornele generatoarelor este sub 24KV), transportul energiei la consumatori trebuie să se facă la tensiune superioară, pentru ca pierderile să fie cât mai mici.

In centrele de consum, transformarea inversă este necesară pentru a livra energia electrică la tensiunea reţelei de distribuţie.

Astfel la extremităţile unei reţele se găsesc transformatoare ridicătoare de tensiune şi transformatoare coborâtoare de tensiune.

2. Funcţionarea transformatorului monofazat.

Un transformator monofazat se compune din două circuite electrice cuplate printr–un circuit magnetic comun, constituit din tole magnetice (fig.1)

Circuitul primar format din W_1 spire este conectat la o sursă de curent alternativ U_1; curentul I_0 absorbit de la reţea dă naştere la un flux magnetic Φ în circuitul magnetic.

Acest flux variabil induce în înfăşurarea secundară formată din W_2 spire tensiuni electromotoare.

Ca urmare la bornele înfăşurării secundare apare o tensiune U_2.

2.1. Funcţionarea în gol

Infăşurarea primară este conectată la o sursă de curent alternativ având tensiunea U_1 şi pulsaţie ω, iar înfăşurarea secundară este în circuit deschis.

Neglijând pierderile magnetice şi rezistenţele înfăşurărilor, curentul I_0 absorbit de înfăşurarea primară este decalat cu $\Pi/2$ în urma tensiunii U_1. Fluxul magnetic Φ creat de curentul I_0 în circuitul magnetic este în fază cu curentul.

Dacă L_1 este inductanţa înfăşurării primare, rezultă că $U_1 = L_1 \omega I_0$, unde:

U_1 – tensiunea de alimentare [V];

L_1 – reactanţa inductivă [Ω];

ω – pulsaţia curentului alternator (radiani pe secundă – rd/s)

Fluxul produs în circuitul magnetic rezultă din relaţia: $\Phi = L_1 I_0$

Acest flux induce în înfăşurarea primară tensiunea electromotoare E_1 decalată în urmă

cu Π/2 față de acest flux, fiind proporțională cu numărul de spire al înfășurării primare, cu pulsația și cu valoarea fluxului alternativ.

Rezultă că în cazul considerat (neglijarea pierderilor magnetice și a rezistențelor înfășurărilor), t.e.m. E_1 este egală și în opoziție de fază cu tensiunea $\underline{U}_1$; $\underline{U}_1 = -\underline{E}_1$

Fluxul Φ induce în același timp în înfășurarea secundară o t.e.m. $\underline{E}_2$, proporțională cu numărul de spire al înfășurării secundare cu pulsația și cu valoarea fluxului. Această t.e.m. este egală cu tensiunea măsurată la bornele secundarului și este defazată cu Π/2 în urma fluxului Φ (fig.2); $\underline{E}_2 = \underline{U}_2$

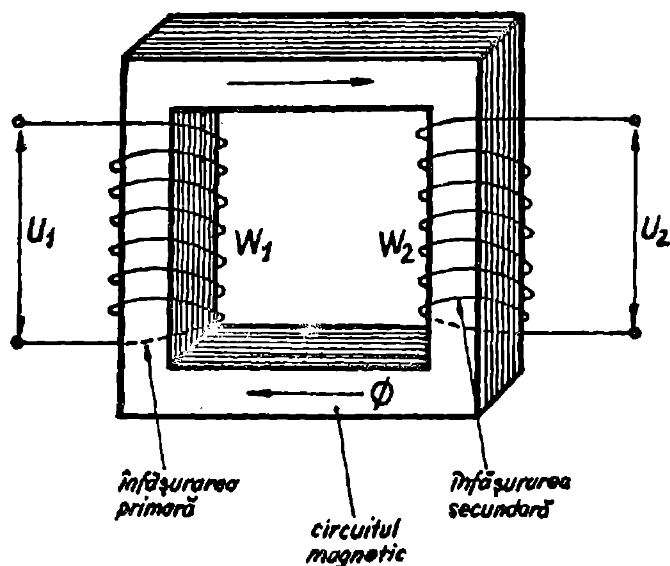


Figura 1

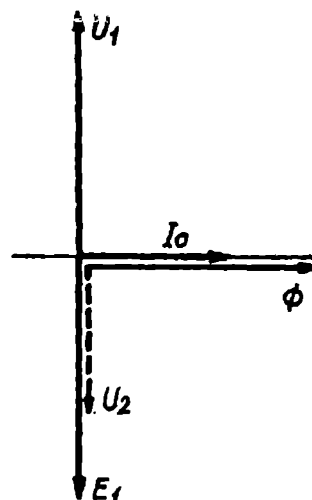


Figura 2

Din cele expuse mai sus rezultă că fluxul din circuitul magnetic al transformatorului depinde numai de tensiunea de alimentare fiind proporțională cu aceasta, pentru o valoare dată a pulsației. Tensiunile primară și secundară sunt în opoziție de fază; raportul între aceste tensiuni este egal cu raportul între spirele celor două înfășurări și se numește raport de transformare (k);

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{W_2}{W_1} = k$$

2.2. Funcționarea în sarcină

Dacă se închide circuitul electric secundar pe circuitul de utilizare, în circuitul închis se stabilește curentul I_2 defazat cu unghiul φ_2 față de tensiunea $\underline{U}_2$.

In condițiile în care se neglijează pierderile magnetice iar t.e.m. $\underline{E}_1$ rămâne constantă, fluxul Φ rămâne constant și în consecință și t.e.m. $\underline{E}_2$ este constantă.

Fluxul Φ constant este fluxul rezultant al amper–spirelor din primar și secundar.

In secundar, amperspirele sunt W_2I_2; în primar reprezintă suma vectorială a amperspirelor W_1I_0, corespunzând funcționării în gol și a amperspirelor W_1I_1 care trebuie să se opună amperspirelor din secundar pentru ca fluxul să rămână constant (fig.3)

$$W_2I_2 + W_1I_1 = W_1I_0$$

Curentul I_0 fiind mic în raport cu curentul de sarcină, este posibil să se neglijeze în primă aproximație amper–spirele în gol, W_1I_0

Diagrama vectorială care rezultă este prezentată în fig.4

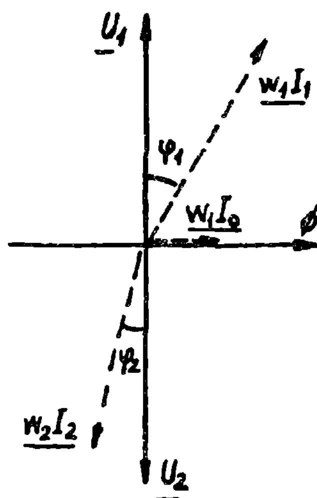


Figura 3

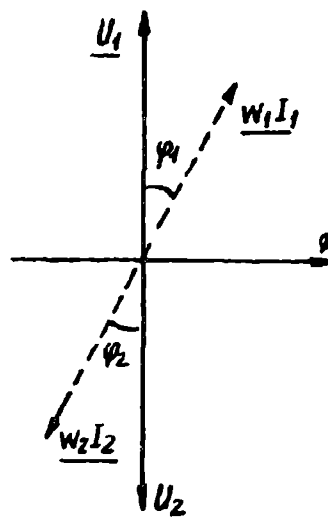


Figura 4

Deci egalitatea amperspirelor primare şi secundare se poate scrie:

$$W_1I_1 = W_2I_2; \quad \frac{I_2}{I_1} = \frac{W_1}{W_2} = \frac{1}{k}$$

Defazajele primare şi secundare sunt egale, $\varphi_1 = \varphi_2$

Puterile active şi reactive primare şi secundare sunt egale;

$U_1I_1\cos\varphi_1 = U_2I_2\cos\varphi_2$;

$U_1I_1\sin\varphi_1 = U_2I_2\sin\varphi_2$

Funcţionarea transformatorului, astfel cum a fost definit fără cădere de tensiune, fără pierdere de putere activă sau reactivă, cu un curent de mers în gol nul, este numită funcţionarea transformatorului perfect.

2.3. Funcţionarea reală

La funcţionarea transformatorului perfect s–au omis trei tipuri de erori:

– s–a considerat curentul de magnetizare $I_0 = 0$;

– s–au neglijat rezistenţele înfăşurărilor primară (R_1) şi secundară (R_2);

– circuitul magnetic nu prezintă pierderi.

In realitate curentul de mers în gol este mic, dar nu este neglijabil;

– curenţii I_1 şi I_2 nu sunt exact în opoziţie;

– unghiurile de defazaj φ_1 şi φ_2 ale curenţilor primar şi secundar în raport cu tensiunile lor nu sunt egale.

Rezistenţele înfăşurărilor nu sunt neglijabile.

Apar căderi de tensiune :

– în primar – R_1I_1;

– în secundar – R_2I_2.

Tensiunile U_1 şi U_2 nu mai sunt egale cu t.e.m. E_1 respectiv E_2.

Pierderile magnetice nu sunt neglijabile, cuplajul magnetic al celor două înfăşurări nu este perfect.

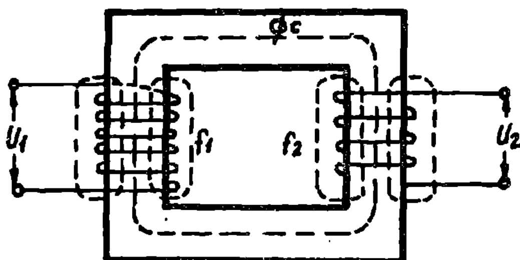


Figura 5

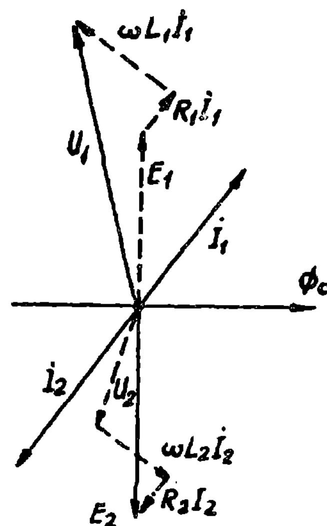


Figura 6

Fluxul total prin fiecare bobină poate fi considerat ca suma unui flux comun φ_c şi a unui flux de scăpări f_1 sau f_2 (fig.5)

Aceste pierderi sunt aproape exclusiv prin aer, astfel că fluxurile de scăpări sunt proporţionale cu curenţii din înfăşurările respective şi în fază cu aceştia.

Datorită traseului aerian, fluxurile de scăpări au valori foarte mici în raport cu fluxul util.

Diagrama vectorială a transformatorului la funcţionarea reală este reprezentată în fig.6

3. Transformatorul trifazat

3.1. Circuitul magnetic (miezul)

Un transformator trifazat poate fi format conectând între ele, în primar şi secundar, trei transformatoare monofazate.

In acest montaj fluxurile circulă independent unele de altele.

Cele trei circuite magnetice sunt identice asigurând o simetrie perfectă din punct de vedere magnetic.

Această variantă constructivă se utilizează la puteri foarte mari în scopul limitării efectelor avariilor în interiorul transformatorului şi simplificării transportului acestora.

Infăşurările pot fi dispuse pe un circuit magnetic format din patru sau cinci coloane sau miezuri (fig.7)

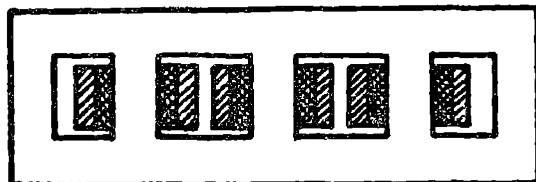


Figura 7

Numai trei miezuri sunt bobinate, celelalte servesc la întoarcerea fluxurilor.

Fiecare din cele trei miezuri bobinate poartă o fază completă (înfăşurare primară şi înfăşurare secundară).

Aceste două tipuri de montaje se numesc cu flux liber.

Circuitul magnetic poate să aibă doar trei miezuri bobinate. Intr–adevăr, dacă tensiunile de fază primare formează un sistem trifazat simetric echilibrat, atunci suma instantanee a celor trei fluxuri este nulă.

Acest tip de circuit magnetic se unește cu flux forțat. (fig.8)

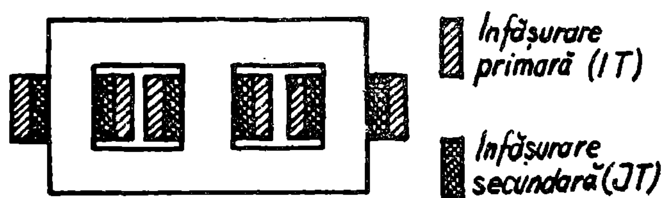


Figura 8

Circuitul magnetic este construit din tablă silicioasă laminată la rece de 0,35; 0,3 sau 0,28 mm grosime izolată cu carlit, cu pierderi specifice (la inducție de 1,0T și la frecvența de 50 Hz) de maximum 0,4 W/Kg.

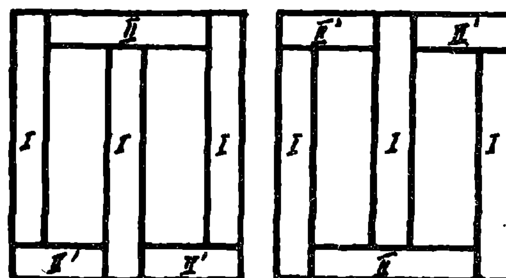
Pentru a obține un circuit magnetic cu rezistență minimă, legătura între coloane și juguri se face prin îmbinare țesută (fig.9)

Miezurile (coloanele) au secțiuni pătrate, în cruce sau în trepte pentru transformatoare de putere mai mare (fig.10)

Forma pătrată se utilizează la transformatoare de mică putere, deoarece această formă are un factor de umplere mic (raportul dintre secțiunea de fier și suprafața cercului circumscris secțiunii).

Numărul treptelor crește cu puterea.

In general numărul treptelor în funcție de diametrul cercului va fi:



I - tole pentru coloane (miez);
II, II' - tole pentru juguri.

Figura 9

Diametrul	Nr.treptelor
până la 100 mm	4
de la 100 la 500 mm	5–6
de la 500 la 1000 mm	9

Jugul transformatorului cu coloane are o secțiune de formă dreptunghiulară sau mai des în trepte.

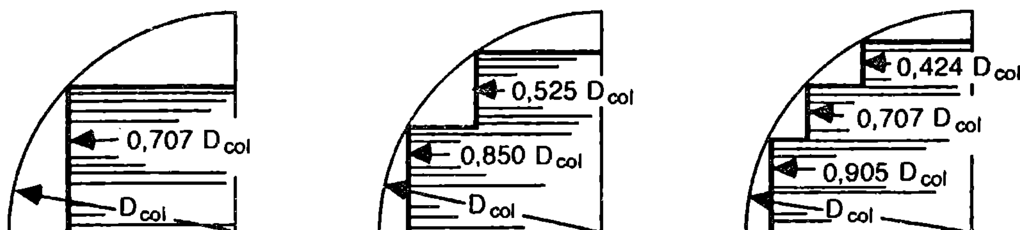


Figura 10

Secțiunea în trepte este preferată datorită repartiției mai uniforme a fluxului magnetic, secțiunile pachetelor care formează jugul corespund cu cele ale coloanelor (fig.11).

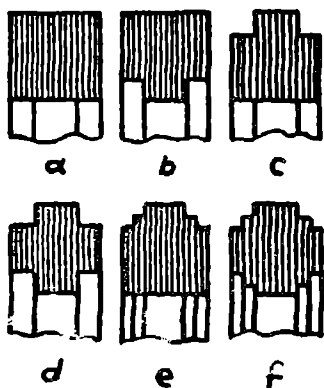


Figura 11

Jugurile sunt strânse cu plăci din profile de oţel sudate sau cu plăci de fontă turnată (fig.12)

Tolele jugurilor şi miezurilor sunt strânse puternic cu buloane sau tiranţi izolaţi de tole pentru a nu forma spire închise prin scurtcircuitarea tolelor (fig.13)

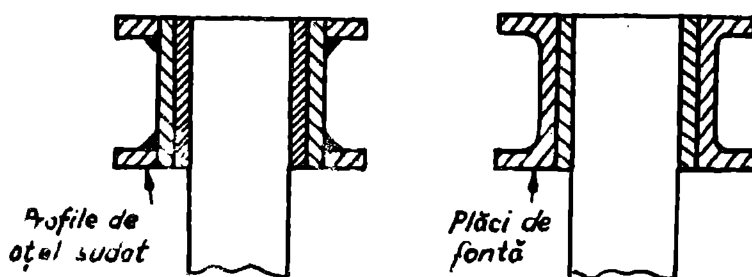


Figura 12

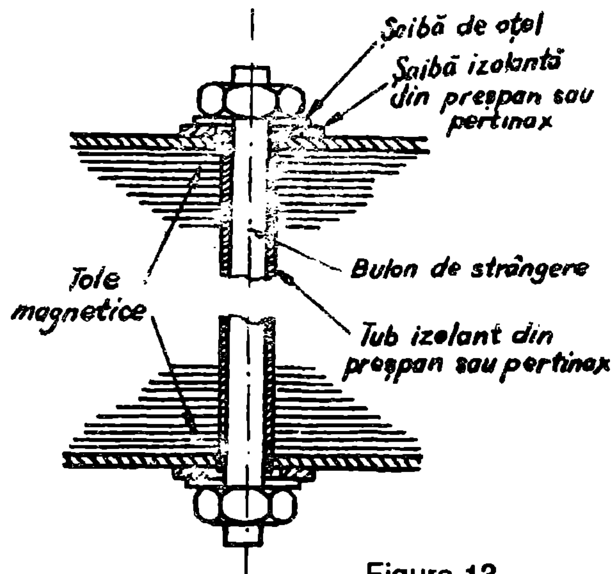


Figura 13

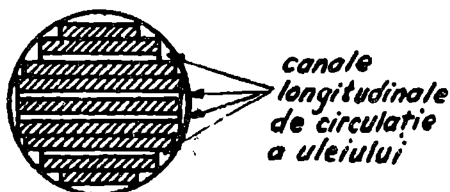
Fluxul variabil care le traversează dă naştere la t.e.m. induse.

Dacă ar fi spire închise, ele ar fi parcurse de un curent de valoare mare, care produce încălziri locale putând distruge izolaţia tolelor.

Izolarea buloanelor de strângere se face cu tub de pertinax sau preşpan şi la capete cu şaibe din textolit.

Pentru a ameliora răcirea circuitului magnetic la transformatoarele de mare putere coloanele jugurilor sunt împărţite în 2,3 sau 4 pachete separate prin canale de aproximativ 10 mm, în vederea uşurării circulaţiei uleiului (fig.14)

Figura 14



4. Infăşurările transformatorului

Sunt executate din sârmă sau bară de cupru sau aluminiu izolată. Infăşurările sunt proiectate şi realizate astfel ca să reziste la eforturile electrodinamice şi termice de scurtcircuit şi la undele de şoc de tensiune.

Infăşurările primare şi secundare ale tranformatorului pot fi dispuse în două moduri:

a) Infăşurări concentrice simple sau duble (cilindrice coaxiale)

Infăşurările primare şi secundare sunt concentrice simple când ele sunt cilindrice şi una într–alta pe toată înălţimea coloanei, înfăşurarea de joasă tensiune având diametrul mediu mai mic decât cea de înaltă tensiune (fig.15)

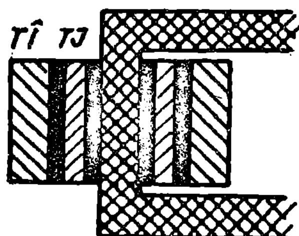


Figura 15

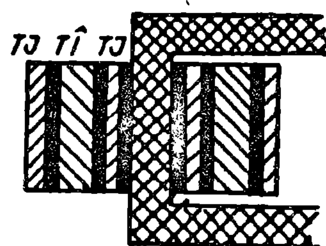


Figura 16

Uneori se foloseşte dispoziţia concentrică dublă, reprezentată în fig.16.

b) Infăşurări în găleţi alternanţi

Infăşurările primare şi secundare sunt divizate în galeţi de grosime mică şi dispuşi pe miez alternativ: un galet primar, un galet secundar (fig.17)

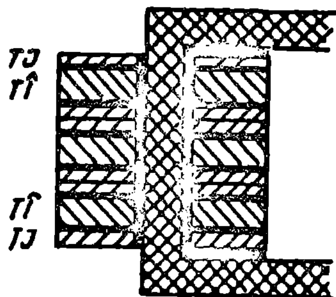


Figura 17

Bobinele înfăşurărilor de înaltă şi joasă tensiune se succed astfel încât lângă juguri să fie galeţi de joasă tensiune.

La acest tip de înfăşurare izolaţia este mai dificil de realizat şi mai costisitoare decât la înfăşurările concentrice.

4.1. Infăşurări de joasă tensiune

Infăşurările cilindrice de joasă tensiune sunt formate:

– dintr–un conductor rotund sau dreptunghiular;

– din mai multe straturi de spire cu mai multe conductoare în paralel, pentru transformatoare de mare putere.

In cazul în care spirele au mai multe conductoare în paralel se efectuează o permutare a conductoarelor la mijlocul înfăşurării, ca să se obţină simetria conductoarelor în raport cu fluxul magnetic (fig.18)

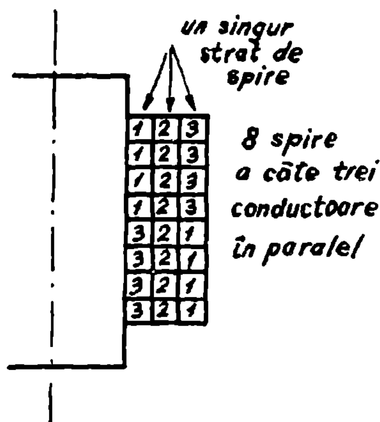


Figura 18

Când tensiunea între spire vecine este mică izolaţie între spire este formată dintr–un strat simplu de lac. Când tensiunea între spire este mai mare sau secţiunile conductoarelor mai importante, izolaţia este formată din două sau trei straturi de bumbac, mătase, hârtie sau preşpan cu grosime de 0,06 – 0,2 mm.

4.2. Infăşurări de înaltă tensiune

Infăşurarea în straturi nu este folosită din cauza tensiunii ridicate între spirele a două straturi vecine, care ar putea străpunge izolaţia.

Pentru a reduce această tensiune, se împarte înfăşurarea de înaltă tensiune în 10, 20, 30 etc. bobine elementare fiecare din ele nesuportând mai mult de 1/10, 1/20, 1/30 etc din tensiunea totală. Tensiunea între straturile fiecărei bobine elementare este atunci redusă şi izolaţia conductoarelor devine corespunzătoare

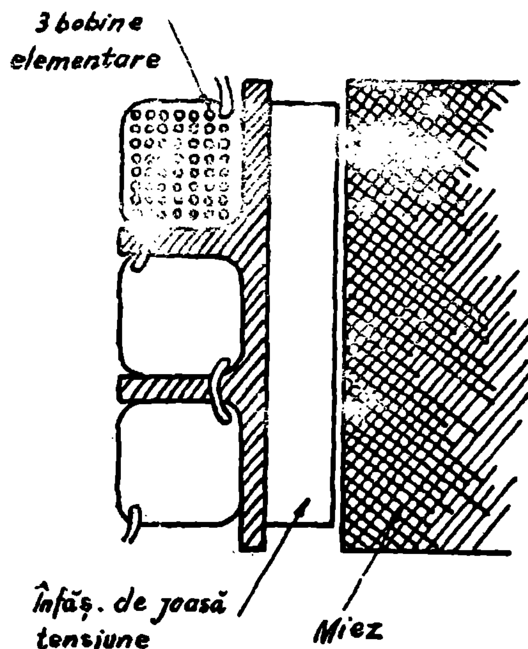


Figura 19

Infaşurările se realizează din conductoare rotunde sau dreptunghiulare.

La transformatoarele de mare putere înfăşurările de înaltă tensiune sunt formate din galeţi în serie.

Galeţii au câteva spire de cupru pe un strat.

Când intensitatea curentului în înfăşurare este mai ridicată, bobina poate să aibă pe un strat o singură spiră, formată dintr–un conductor lat; bobina are aspectul unui disc subţire, înfăşurarea se numeşte în galeţi din conductor profilat (fig.20)

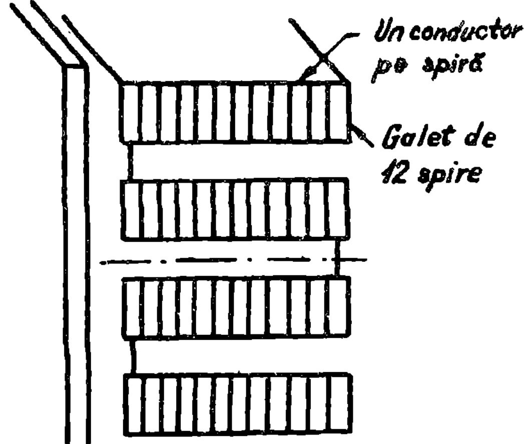
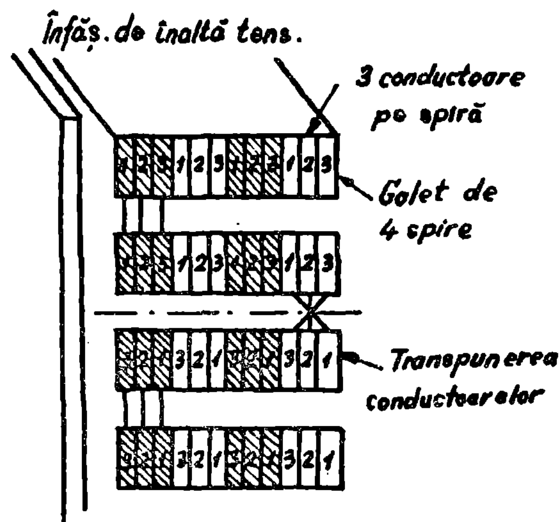


Figura 20

Când curenţii sunt mari spira poate fi compusă din mai multe conductoare în paralel.

In acest caz, pentru obţinerea simetriei conductoarelor în raport cu fluxul magnetic, la mijlocul înfăşurării se face o permutare a conductoarelor (fig.21)

Figura 21



Bobinele sunt centrate în jurul unui cilindru cu pene radiale şi longitudinale, menţinând canale de trecere a uleiului, în scopul unei bune răciri a înfăşurărilor.

Fixarea bobinelor de înaltă şi joasă tensiune trebuie să se facă solid, pentru a se evita deplasările axiale sau radiale ale bobinelor sub acţiunea forţelor electrodinamice generate de curenţii de scurtcircuit.

5. Raport de transformare

Raport de înfăşurare

Raportul de transformare (K_u) se defineşte ca raportul dintre t.e.m. primară E_1 şi t.e.m. secundară E_2; practic se consideră egal cu raportul tensiunilor între faze care se măsoară la mersul în gol, adică:

$$K_u = \frac{E_1}{E_2} \approx \frac{U_{01}}{U_{02}}$$

Pentru determinarea experimentală a raportului de transformare, indiferent de metoda folosită, una din înfăşurări trebuie alimentată cealaltă fiind în circuit deschis (în gol).

Cu o bună aproximaţie, între tensiunea nominală de fază a primarului U_{1f} şi tensiunea secundară de fază U_{2f} la funcţionarea în gol există relaţia:

$$\frac{U_{1f}}{U_{2f}} \approx \frac{W_1}{W_2}$$

iar între curenţii nominali prin înfăşurările de fază $\frac{I_{1n}}{I_{2n}} \approx \frac{W_2}{W_1}$

unde: W_1, W_2 – numărul de spire al înfăşurării primare, respectiv al înfăşurării secundare pe fiecare fază;

I_{1n}, I_{2n} – curenţii nominali de fază prin înfăşurarea primară, respectiv prin înfăşurarea

secundară.

Raportul $K_W = W_1/W_2$ se numeşte raport de înfăşurare.

Pentru exemplificarea relaţiei dintre raportul de transformare şi raportul de înfăşurare, se consideră două cazuri:

a) Transformatoare cu grupa de conexiuni Yy–o;

raportul de transformare al tensiunilor la borne la mersul în gol,

$$K_U = \frac{U_1}{U_2} = \frac{U_{1f}\sqrt{3}}{U_{2f}\sqrt{3}} = \frac{U_{1f}}{U_{2f}} = \frac{W_1}{W_2}$$

Rezultă că la transformatoare cu această conexiune, $K_U = K_W$

b) Transformatoare cu grupa de conexiuni Yd–5;

Raportul de transformare:

$$K_U = \frac{U_1}{U_2} = \frac{U_{1f}\sqrt{3}}{U_{2f}} = \sqrt{3}\,\frac{W_1}{W_2};$$ de unde rezultă: $K_U = \sqrt{3}\,K_W$

6. Tensiunea nominală de scurtcircuit

Se determină printr–o încercare de scurtcircuit. Cu secundarul în scurtcircuit, se alimentează înfăşurarea primară a transformatorului cu tensiune progresivă, astfel încât prin înfăşurări să circule curenţii I_{1sc} şi I_{2sc} egali cu curenţii nominali ai înfăşurărilor I_{1n} şi I_{2n} (fig.22);

Valoarea tensiunii pentru care se obţin curenţii nominali în înfăşurările transformatorului se numeşte tensiune nominală de scurtcircuit.

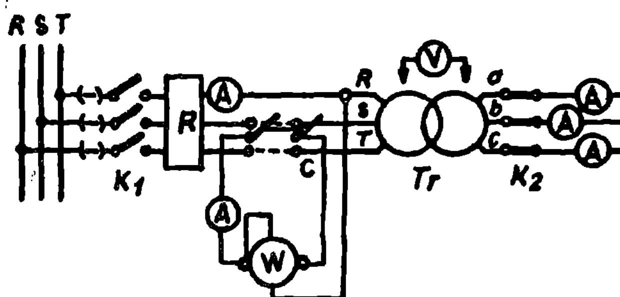


Figura 22

Prin tensiuni de scurtcircuit relative se înţeleg căderile de tensiune ohmică, inductivă şi totală raportate la tensiunea nominală.

Impedanţa, rezistenţa şi inductanţa unei faze a transformatorului la încercarea de scurtcircuit se numesc parametrii de scurtcircuit (Z_k, R_k, şi X_k) şi se determină cu relaţiile.

$$Z_k = \frac{U_k}{I_{1n}}; \quad R_k = \frac{P_{kf}}{I_{1n}^2}; \quad X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2};$$

unde: U_k– tensiunea nominală de scurtcircuit;

I_{1n}– valoarea nominală a curentului pe partea alimentării cu tensiune a transformatorului;

P_{kf} – pierderile în scurtcircuit (pierderile în cupru) pe fază.

Tensiunile de scurtcircuit relative activă, reactivă şi totală se determină cu relaţiile:

$$U^*_{ka}\,[\%] = \frac{R_k I_{1n}}{U_{1n}}; \quad U^*_{kr}\,[\%] = \frac{X_k I_{1n}}{U_{1n}}; \quad U^*_k\,[\%] = \sqrt{U^{*2}_{ka} + U^{*2}_{ka}}$$

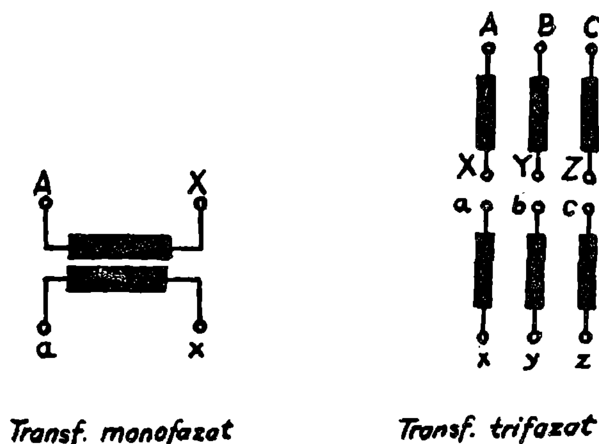
unde: U_{1n}, I_{1n} sunt valorile nominale ale tnsiunii respectiv ale curentului înfăşurării care se alimentează cu tensiune (în cazul expus, înfăşurarea primară)

7. Conexiunile tranformatoarelor trifazate

Inceputurile înfăşurărilor de înaltă tensiune se notează cu A.B.C. iar sfârşiturile cu X–Y–Z.

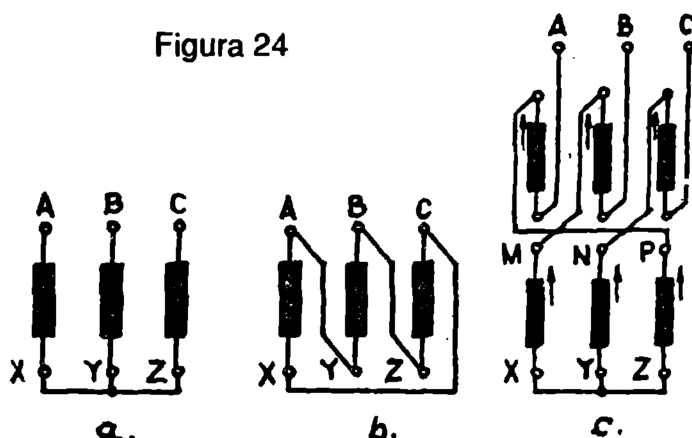
Pentru înfăşurările de joasă tensiune se utilizează acelaşi mod de notaţie, dar cu litere mici (fig.23a, b)

Figura 23



Borna de nul se notează cu literă mare N pentru înfăşurarea de înaltă tensiune, respectiv cu litera mică n pentru înfăşurarea de joasă tensiune.

Figura 24



a - conexiune stea ;
b - conexiune triunghi ;
c - conexiune zig-zag .

Cunoscând bornele înfăşurărilor se pot conecta corect înfăşurările transformatorului trifazat în stea, în triunghi sau zigzag (fig.24a.b.c)

Acest lucru este deosebit de important pentru funcţionarea în paralel a mai multor transformatoare.

Primele două conexiuni se întâlnesc atât la transformatoare cât şi la motoare. Conexiunea zigzag este specifică transformatoarelor.

Conexiunile înfăşurărilor de înaltă tensiune se reprezintă prin simbolurile: Y–stea, D–triunghi, Z–zigzag; pentru înfăşurările de joasă tensiune se notează în acelaşi mod, dar cu litere mici.

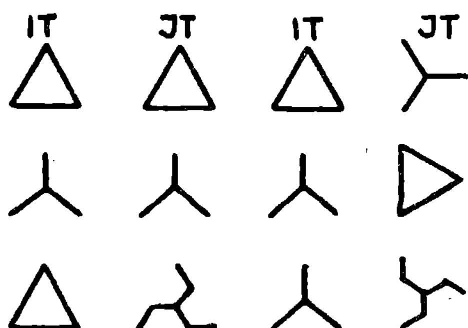


Figura 25

Dacă o conexiune are punctul de nul scos, la simbolul corespunzător se adaugă indicele 0.

Toate combinaţiile de conexiuni (în număr de şase) sunt reprezentate în fig.25.

Dar dacă se schimbă între ele capetele fiecărei faze, fie în primar, fie în secundar, ceeace echivalează cu bobinarea în sens invers a înfăşurărilor respective, se obţine o altă clasă de conexiuni; se zice că aceasta este răsturnată celeilalte. Rezultă deci 12 clase de conexiuni (tabelul 1).

In diagramele fazariale tensiunile compuse ale înfăşurărilor sunt reprezentate prin triunghiuri echilaterale ABC, în care A,B,C, se succed în sensul pozitiv (sensul acelor de ceasornic)

Dacă înfăşurarea este conectată în triunghi, laturile triunghiului ABC, care reprezintă tensiunile compuse reprezintă în acelaşi timp şi teniunile de fază ale înfăşurării. Dacă înfăşurarea este în stea, între tensiunile de fază şi cele compuse este un decalaj de 30°.

Pentru exprimarea unghiului de defazaj între tensiunile la borne omoloage, primare şi secundare, se ia ca unitate de defazaj unghiul de 30°, pe care–l fac între ele semnele celor 12 ore pe cadranul unui ceasornic; atunci defazajul poate fi simbolizat cu cifra indicată de vectorul tensiunii secundare pe cadranul ceasornicului (vectorul tensiunii omoloage primare indicând cifra 12 pe cadran) fig.26

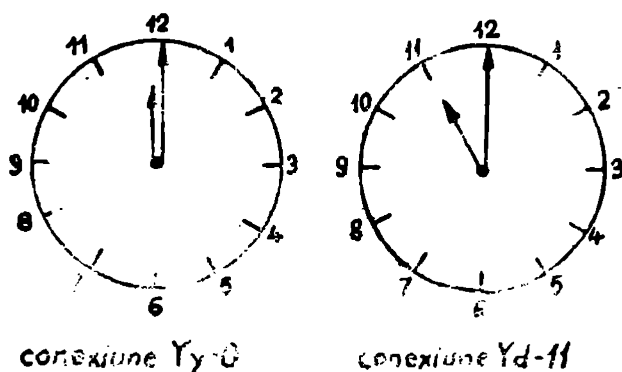


Figura 26

De exemplu, dacă se consideră conexiunea Yd–11, înseamnă că înfăşurarea primară are conexiunea stea iar înfăşurarea secundară, triunghi; decalajul dintre tensiunile omoloage este de 11x30° =330°

Indicarea pe plăcuţa transformatorului a grupei de conexiuni, căreia îi aparţine transformatorul, este foarte importantă pentru că prin aceasta se determină unghiul de defazaj dintre tensiunile compuse omoloage deci unghiul dintre tensiunile la borne de înaltă şi joasă tensiune.

Acest unghi depinde de:

– sensul de bobinare;

– modul de notare a bornelor înfăşurărilor;

– modul de conectare a înfăşurărilor transformatoarelor trifazate.

Pentru a exemplifica influenţa sensului de bobinare şi a modului de notare a bornelor înfăşurărilor, se consideră un transformator monofazat.

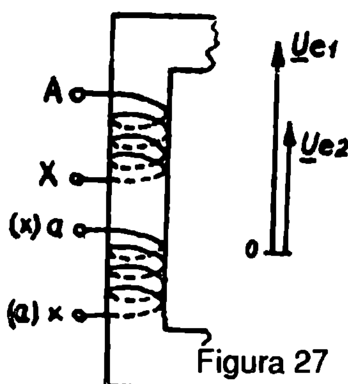
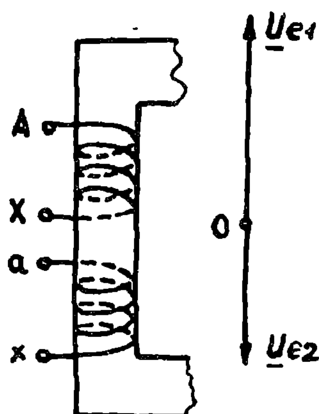


Figura 27

Pe aceeaşi coloană sunt plasate înfăşurările (primară şi secundară) cu acelaşi sens de bobinare, având bornele de sus, începuturile (notate cu A,a) iar cele de jos, capetele lor terminale (notate cu X,x)

Fluxul magnetic variabil din coloană induce şi în cele două înfăşurări t.e.m. care au în orice moment acelaşi sens faţă de bornele înfăşurărilor (de exemplu de la A la X în înfăşurarea de înaltă tensiune şi de la *a* la *x* în înfăşurarea de joasă tensiune);

U_{e1} şi U_{e2} reprezintă t.e.m. din cele două înfăşurări (fig. 27).



Dacă înfăşurarea secundară este bobinată în sens diferit, dar notarea bornelor rămâne aceeaşi, atunci cele două t.e.m. sunt în opoziţie de fază (figura 28).

Se obţinea acelaşi rezultat dacă se păstra acelaşi sens de bobinare, dar se schimba notarea înfăşurării secundare (fig.27, notaţia din paranteze)

Figura 28

In primul caz unghiul de defazaj dintre cele două t.e.m. este 0^{0} iar în cazul al doilea 180^{0}.

In cazul transformatoarelor trifazate se analizează **conexiunea Yy–12 (fig.29)**

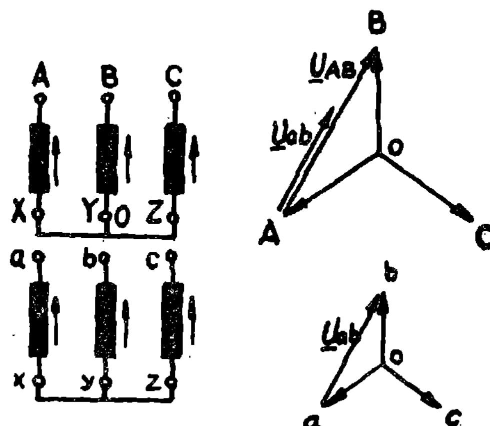


Figura 29

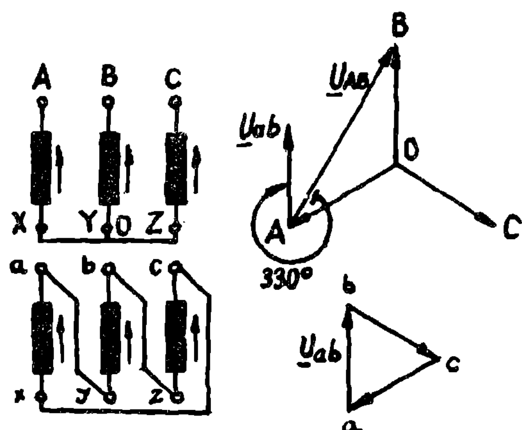
Infăşurările primare şi secundare au acelaşi sens de bobinare şi aceeaşi succesiune a fazelor (ABC respectiv abc)

Tensiunea $\underline{U}_{ax}$ a fazei secundare a–x este în fază cu tensiunea $\underline{U}_{AX}$ a fazei primare corespunzătoare. In mod analog $\underline{U}_{by}$ este în fază cu $\underline{U}_{BY}$, respectiv $\underline{U}_{cz}$ în faza cu $\underline{U}_{CZ}$.

Unghiul de defazaj între tensiunile omoloage U_{AB} şi U_{ah} se constată că este zero. Deci conexiunea este Yy–12 sau Yy–0

Pentru conexiunea Yd, reprezentăm steaua tensiunilor primare şi deducem poziţia vectorilor tensiunii secundare de fază (fig.30)

Figura 30



Tensiunea pe fază secundară Uax este în fază cu tensiunea primară $\underline{U}_{AX}$.

Dar $\underline{U}_{ax} = \underline{U}_{ac}$, deci tensiunea $\underline{U}_{ac}$ este în fază cu tensiunea $\underline{U}_{AX}$

In mod analog, $\underline{U}_{ba}$ este în fază cu U_{BY} şi $\underline{U}_{cb}$ este în fază cu $\underline{U}_{CZ}$.

Se constată că decalajul între două tensiuni omoloage (exemplu $\underline{U}_{AB}$ şi $\underline{U}_{ab}$) considerat în sensul succesiunii fazelor, este de 330°; rezultă că transformatorul are conexiunea Yd–11

Dacă la conexiunea Yd analizată mai sus, se schimbă începutul cu sfârşitul fiecărei faze secundare (echivalent cu schimbarea sensului de bobinare) atunci tensiunile de fază omoloage sunt în opoziţie (figura 31)

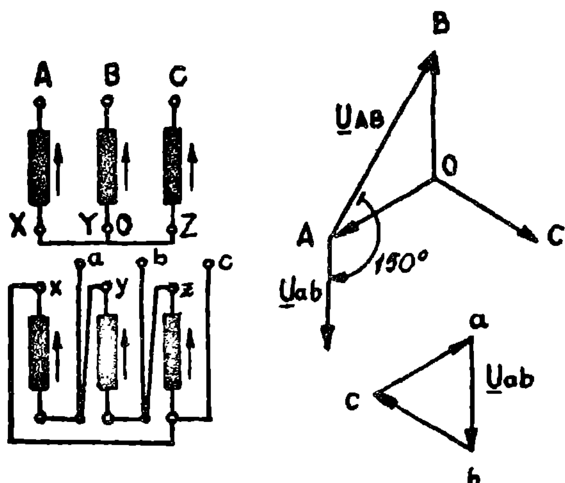


Figura 31

Tensiunea pe fază secundară $\underline{U}_{ax}$ este în opoziţie de fază faţă de tensiunea primară de fază $\underline{U}_{AX}$.

Dar $\underline{U}_{ax} = \underline{U}_{ac}$, deci tensiunea U_{ac} este în opoziţie cu tensiunea $\underline{U}_{AX}$.

In mod analog, tensiunea $\underline{U}_{ba}$ este în opoziţie cu tensiunea $\underline{U}_{by}$ şi $\underline{U}_{cb}$ este în opoziţie cu tensiunea $\underline{U}_{CZ}$.

Din diafragma fazorială se constată că decalajul între tensiuni omoloage (exemplu $\underline{U}_{AB}$ şi $\underline{U}_{ab}$), considerat în sensul succesiunii fazelor, este de 150°; rezultă că transformatorul are conexiunea Yd–5

In acelaşi mod se pot studia şi celelalte grupe de conexiuni.

In tabelul 2 sunt reprezentate conexiunile şi grupele de conexiuni ale transformatoarelor trifazate.

Tabelul 2

Simbol	Diagrama de fazori ai tensiunilor ÎT JT	Schema de conexiuni a înfăşurărilor ÎT JT	Raport de transform.
Yy-0	B b A C a c	A a B b C c	$\frac{W_1}{W_2}$
Dd-0	B b A C a c	A a B b C c	$\frac{W_1}{W_2}$
Dy-5	B c A C a b	A a B b C c	$\frac{W_1}{\sqrt{3}W_2}$
Yd-5	B a A C c b	A a B b C c	$\frac{\sqrt{3}W_1}{W_2}$
Yz-5	B a A C c b	A a B b C c	$\frac{2W_1}{\sqrt{3}W_2}$
Dy-11	B b A C a c	A a B b C c	$\frac{W_1}{\sqrt{3}W_2}$
Yd-11	B b A C c a	A a B b C c	$\frac{\sqrt{3}W_1}{W_2}$
Yz-11	B b A C c a	A a B b C c	$\frac{2W_1}{\sqrt{3}W_2}$

8. Pierderi în transformator

8.1. Pierderi în fier, depind de fluxul care circulă în circuitul magnetic. Acest flux este practic independent de sarcina transformatorului, deci şi pierderile în fier sunt independente de sarcina transformatorului.

Pierderile în fier sunt de două feluri:

– pierderi prin curenţi Foucault;

– pierderi prin histerezis.

Pierderile prin curenţi Foucault

Tolele circuitului magnetic sunt supuse variaţiilor fluxului şi ca urmare în interiorul lor se produc tensiuni electromotoare, care determină o circulaţie de curenţi în tole.

Aceşti curenţi, numiţi curenţi Focault, produc încălzirea tolelor prin efectulJoule.

Pentru reducerea pierderilor prin curenţi Foucault, circuitele magnetice se realizează din tole de grosime redusă, izolate între ele.

Pierderi prin histerezis.

Substanţele feromagnetice (de exemplu fierul) se magnetizează dacă sunt plasate într–un câmp magnetic de inducţie B. Prin creşterea intensităţii câmpului magnetic, magnetizarea fierului tinde spre o limită de saturaţie.

Descrescând intensitatea câmpului, pentru aceeaşi valoare a câmpului, nu se regăseşte aceeaşi valoare a magnetizării. Dacă intensitatea câmpului devine zero, fierul păstrează o magnetizare remanentă (fig.32)

Variaţia câmpului magnetic între două valori egale şi opuse $+H_0$ şi $-H_0$, produsă de un curent alternativ care circulă printr–un salenoid, determină magnetizarea fierului după o curbă închisă numită ciclu histerezis.

Energia pierdută în fier este proporţională cu suprafaţa ciclului histerezis (fig.33)

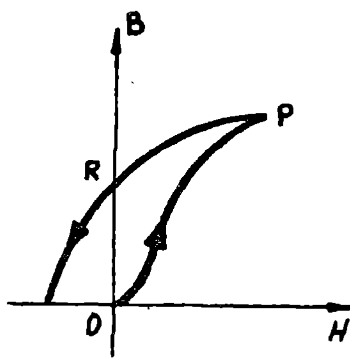


Figura 32

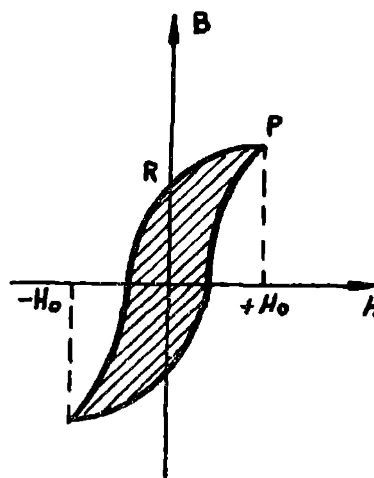


Figura 33

Calitatea oţelului din care se confecţionează circuitul magnetic al transformatorului este aleasă astfel încât suprafaţa ciclului să fie cât mai mică.

Este posibil să se reducă suprafaţa ciclului, respectiv pierderile, mărind secţiunea circuitului magnetic; rezultă pentru acelaşi flux o valoare mai redusă a inducţiei ($B = \Phi/S$)

8.2. Pierderi în înfăşurări prin efect Joule (pierderi cupru)

Infăşurările primare şi secundare ale transformatorului au o anume valoare a rezistenţei ohmice.

Dacă R_1 şi R_2 sunt rezistenţele ohmice ale înfăşurărilor primară şi secundară;

I_1 şi I_2 curenţii care circulă prin aceste înfăşurări, atunci pierderile prin efect Joule sunt:

– în înfăşurarea primară – $R_1I_1^2$;

– în înfăşurarea secundară – $R_2I_2^2$.

Pierderile totale prin efect Joule sunt egale cu suma lor, $P_{cu} = R_1I_1^2 + R_2I_2^2$

9. Măsurarea pierderilor în transformator

9.1. Măsurarea pierderilor în fier.

Se face printr–o probă de mers în gol.

Primarul transformatorului este alimentat cu tensiunea alternativă U_1, normală.

Secundarul transformatorului este în circuit deschis.

Infăşurarea primară a transformatorului este parcursă de curentul de magnetizare I_0, care are o valoare redusă faţă de curentul nominal (2–5%)

Realizând schema din fig.34 se poate măsura:

– raportul de transformare;

– curentul de magnetizare I_0;

– puterea activă consumată de transformator.

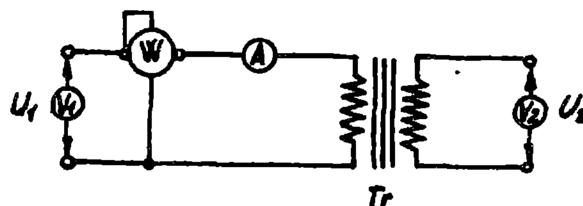


Figura 34

$P_0 = U_1 I_0 \cos\varphi_0$, reprezentând valoarea pierderilor de mers în gol sau a pierderilor în gol, pierderile Joule la mersul în gol sunt practic neglijabile (I_0 are valoare redusă faţă de curentul nominal).

Separarea pierderilor în fier în pierderi histerezis şi pierderi prin curenţi Foucault, se bazează pe faptul că la inducţie constantă în fier, deci la aceeaşi tensiune primară aplicată transformatorului, pierderile histerezis variază proporţional cu frecvenţa, iar pierderile prin curenţi Foucault cu pătratul frecvenţei.

Efectuând două măsuători ale puterii consumate la mersul în gol, la frecvenţe diferite f_1 şi f_2 rezultă: $P_{Fe} = P_H + P_F = af_1 + bf_1^2$

$$P'_{Fe} = P'_H + P'_F = af^2 + bf_2^2$$

unde: P_H, P'_H şi P_F, P'_F sunt pierderile histerezis respectiv Foucault;

f_1 şi f_2 frecvenţele de efectuare a măsurărilor (cunoscute).

Prin rezolvarea sistemului se determină constantele a şi b şi prin aceasta pierderile .

In afara pierderilor principale, în fierul transformatorului apar şi pierderi suplimentare cauzate de:

– schimbarea structurii la prelucrarea mecanică a tolelor;

– repartizarea neuniformă a inducţiei magnetice de exemplu în locurile de îmbinare, în locul de fixare a buloanelor etc;

– variaţia nesinusoidală a fluxului principal.

Aceste pierderi suplimentare reprezintă 10–15% din pierderile principale.

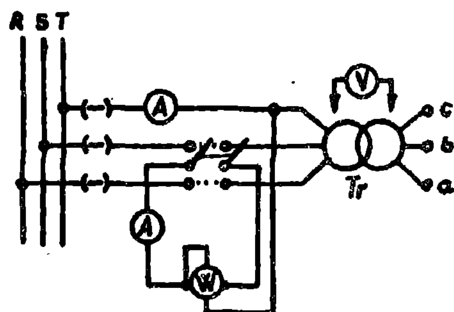


Figura 35

Pentru determinarea pierderilor în fier (mers în gol) la transformatoarele trifazate se realizează schema din fig.35; măsurarea puterii consumate se face prin metoda celor două wattmetre conectate la instalaţie prin intermediul transformatoarelor de măsură.

Tensiunea aplicată trebuie să aibă valoare nominală şi frecvenţă nominală, iar sistemul trifazat

de tensiuni să fie echilibrat.

9.2. Măsurarea pierderilor în cupru

Se face printr–o probă de scurtcircuit constând în alimentarea primarului transformatorului cu tensiune redusă (câteva procente din tensiunea nominală) secundarul fiind în scurtcircuit, astfel încât prin înfăşurări să circule I_{1sec} şi I_{2sec} egali cu curenţii nominali ai înfăşurărilor fig. 36.

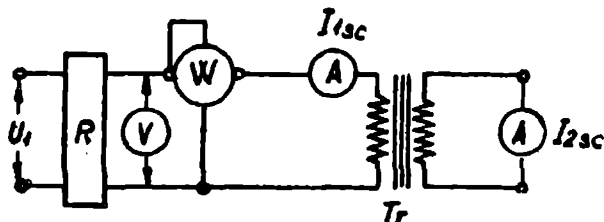
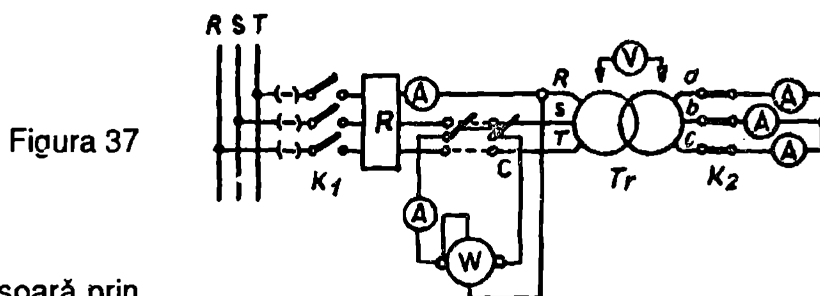


Figura 36.

Puterea măsurată în circuitul primar al transformatorului reprezintă pierderile în cupru (pierderile Joule); pierderile în fier sunt practc neglijabile întrucât fluxul din circuitul magnetic reprezintă câteva procente din fluxul nominal (teniunea de alimentare redusă).

Pentru determinarea pierderilor în cupru (proba de scurtcircuit) la transformatoarele trifazate se realizează schema din fig.37 în care aparatele de măsură se montează prin intermediul transformatoarelor de măsură.

Figura 37



Puterea consumată se măsoară prin metoda celor două Wattmetre.

10. Randamentul transformatorului

Dacă P_1 este puterea absorbită de înfăşurarea primară a transformatorului şi P_2, puterea furnizată de secundarul transformatorului, randamentul se determină cu relaţia:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad \text{sau} \quad \eta = \frac{P_2}{P_1 + p}; \text{ unde } p = P_F + P_{cu}$$

reprezintă pierderile în transformator (pierderile în fier şi în înfăşurări)

Expresia generală a randamentului pentru un număr m de faze, se exprimă prin relaţia:

$$\eta = \frac{mU_{2f}\cos\varphi_2}{mU_{2f}I_{2f}\cos\varphi_2 + P_F + P_{cu}}$$

unde: U_{2f}, I_{2f} – mărimi pe fază în secundar şi φ_2 unghiul de decalaj dintre acestea.

Tinând seama că pierderile de mers în gol (p_0) sunt practic constante (independente de sarcina) şi că pierderile în scurtcircuit (p_k) pentru un factor de încărcare K_s din sarcina nominală variază cu K_s rezultă că expresia randamentului devine:

$$\eta_{ks} = \frac{mU_{2f}K_sI_{2fn}\cos\varphi_2}{mU_{2f}K_sI_{2fn}\cos\varphi_2 + p_o + K_s^2p_k}$$

dar $mU_{2f}I_{2fn}$ = S (puterea aparentă), relaţia devine:

$$\eta_{ks} = \frac{SK_s\cos\varphi_2}{SK_s\cos\varphi_2 + p_0 + K_s^2 p_k}$$

Factorul de încărcare corespunzător randamentului maxim se calculează punând condiţie ca pierderile de mers în gol să fie egale cu cele de scurtcircuit adică:

$$K_s^2 p_k = p_0, \qquad K_s = \sqrt{\frac{p_0}{p_k}}$$

In fig. 38 este reprezentată variaţia randamentului cu sarcina şi factorul de putere.

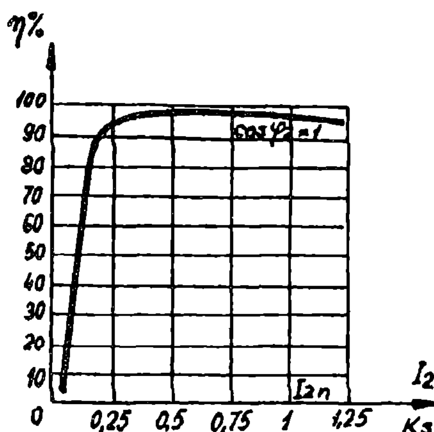


Figura 38

Randamentele transformatoarelor de mare putere au valori peste99%

10. Răcirea transformatoarelor

Pierderile în fier şi pierderile în cupru se transformă în căldură.

Incălzirea transformatorului trebuie limitată la o anumită valoare, astfel încât în nici un punct temperatura să nu atingă o valoare periculoasă pentru starea izolaţiei.

Durata de viaţă a materialelor izolante este redusă când sunt supuse la temperaturi anormale.

De exemplu, dacă durata unui material izolant este de 20 de ani, când el funcţionează la temperaturi de 80^{o} – 90^{o} C, aceasta scade la jumătate, dacă temperatura de funcţionare este de 105^{o} C. Căldura degajată în transformator se evacuează în mediul înconjurător prin intermediul uleiului.

Uleiul în contact cu tolele şi înfăşurările se încălzeşte şi ca urmare, se ridică spre capacul cuvei intrând în contact cu suprafaţa cuvei şi a radiatoarelor de răcire; uleiul răcit revine spre înfăşurări şi circuitul magnetic şi ciclul continuă.

Când puterea transformatorului creşte, suprafaţa netedă a cuvei devine insuficientă pentru a evacua pierderile în condiţii normale de încălzire şi atunci se doptă soluţii care oferă aerului ambiant o suprafaţă mai mare de răcire (ondularea pereţilor cuvei, adăugarea la cuvă a radiatoarelor etc.)

Răcirea astfel realizată se numeşte răcire naturală cu ulei, simbol ***NL*** (N– circulaţie naturală a uleiului, L– mişcarea naturală a aerului).

Pierderile în transformatoare de mare putere sunt apreciabile rezultând o cantitate mare de căldură ce trebuie evacuată.

Pentru a accelera transmiterea căldurii de la partea activă în mediul ambiant, se folosesc diferite sisteme de răcire.

a) Ventilaţia forţată

Pentru a activa schimbul de căldură din transformator în mediul ambiant, se întrebuinţează ventilatoare care suflă aer proaspăt pe pereţii radiatoarelor.

Acest sistem se numeşte răcire naturală cu ulei, cu ventilaţie forţată (suflare–S) a aerului, simbol *NS*.

După felul cum circulă curentul de aer pe suprafaţa radiatoarelor, ventilaţia forţată se realizează în două variante:

– longitudinală (de jos)

– transversală (din lateral)

Ventilaţie transversală este superioară celei longitudinale, deoarece aerul rece poate să răcească direct locurile cele mai încălzite din radiatoare (în partea de sus).

La transformatoarele de mare putere, radiatoarele sunt aşezate în baterii separate, alături de transformator şi legate de el prin ţevi, care aduc uleiul cald de la transformator.

Uleiul răcit în radiatoare este retransmis transformatorului.

b) Circulaţia forţată a uleiului

Pentru a mări viteza de circulaţie a uleiului, în radiatoare şi a activa astfel schimbul de căldură se întrebuinţează pompe de circulaţie intercalate în circuitul de ulei (circulaţie forţată de ulei – F); radiatoarele sunt răcite natural cu aer, sistemul de răcire are simbolul *FL*.

La transformatoarele de mare putere se întrebuinţează împreună cu circulaţia forţată a uleiului şi ventilaţia forţată, sistemul de răcire având simbolul *FS*.

c) Răcirea cu apă.

Acest sistem de racire (simbol A) se adoptă în special în situaţia în care spaţiul de montaj este redus; capacitatea mare de răcire a apei permite realizarea unei răciri corespunzătoare în gabarite mult reduse.

Răcirea cu apă se execută în două variante:

– prin serpentine instalate în cuva transformatorului prin care circulă apă;

– prin baterii de radiatoare, separate de cuvă, răcite cu apă; uleiul cald este transmis în radiatoare prin intermediul pompelor de ulei. Sistemul de răcire are simbolul *FA*.

Pentru a evita pătrunderea apei în ulei, presiunea uleiului trebuie să fie întotdeauna mai mare decât presiunea apei din radiatoare.

11. ACCESORIILE TRANSFORMATOARELOR

11.1. Comutatorul de reglaj

Tensiunea secundară trebuie menţinută în anumite limite, când tensiunea primară variază.

Aceasta se realizează prin modificarea raportului de transformare, mărind sau micşorând numărul de spire, fie în înfăşurarea primară, fie în înfăşurarea secundară.

Dacă U_1 este tensiunea primară; U_2 tensiunea secundară;

W1 numărul de spire al înfăşurării primare; W_2 numărul de spire al înfăşurării secundare;

$$\text{atunci:} \quad U_2 = U_1 \frac{W_2}{W_1}$$

a) Reglarea tensiunii în trepte cu deconectarea transformatorului.

Schimbarea prizelor (modificarea în trepte a numărului de spire al înfăşurării) se face cu ajutorul unui comutator legat pe punctul neutru al înfăşurărilor conectate în stea (fig.39). Comutatorul este manevrat printr–o manivelă aşezată la exteriorul cuvei transformatorului.

Numerotarea prizelor se face de la 1 la n, cifra 1 corespunzând celui mai mare număr de

spire al înfăşurării.

Schimbarea prizelor nu se poate face decât dacă transformatorul este scos de sub tensiune.

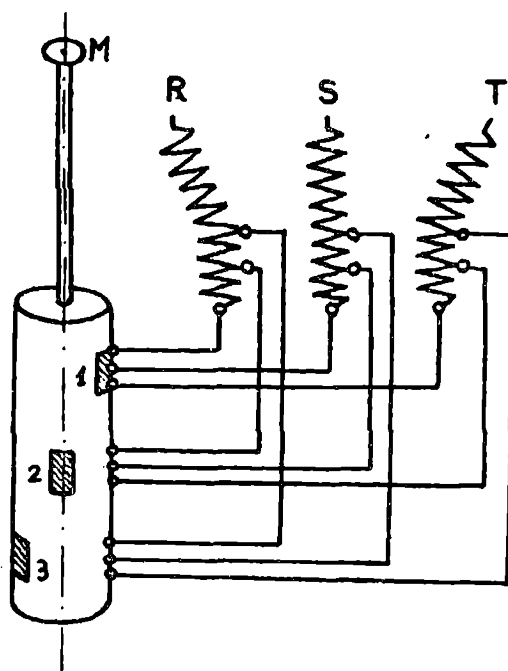


Figura 39

b) Comutator de reglare în trepte în sarcină.

La asemenea dispozitive trecerea de la o priză la alta se face fără scoaterea din funcţiune a transformatorului. Prizele pot fi:

- pe înfăşurarea primară;
- pe înfăşurara secundară;
- la extremitatea înfăşurărilor;
- la mijlocul înfăşurărilor.

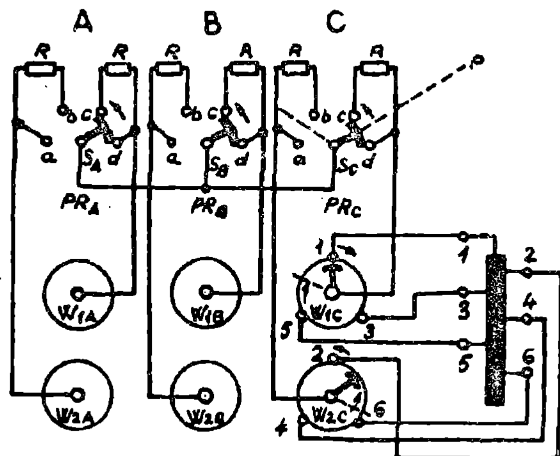
In fig.39 se reprezintă schematic un comutator cu reglaj sub sarcina tip III Jansen. Acesta realizează reglajul pe nul, având contactele de rupere într–o cuvă separată, inclusă în cuva transformatorului.

In schema comutatorului se fac notaţiile:

- PR_A, PR_B, PR_C – comutatoarele de lucru pentru faza A, B respectiv C;
- S_A, S_B, S_C – contactele comutatoarelor de lucru;
- W_{1A}–W_{2A}, W_{1B}–W_{2B}, W_{1C}–W_{2C}, selectoare rotative pentru faza A,B respectiv C;

R– rezistenţe de scurtcircuitare a spirelor dintre două prize consecutive.

Pentru explicarea modului de funcţionare se consideră faza C.



W_{1C}, W_{2C} - selectoare rotative ;
PR_C - comutator de lucru pt. faza C ;
S_C - contactul mobil pentru comutatorul de lucru .

Figura 40

In poziţia prezentată contactul S_c se găseşte pe poziţia de repaus p, iar legătura înfăşurării la nul se realizează prin contactul S_c (rezistenţa R este deconectată).

In poziţia intermediară între p şi s, contactul S_c conectează în circuit rezistenţa R. După aceea contactul selectorului W_{2c} începe să se deplaseze pe contactul 2, care este fără curent. Mai departe contactul S_c ocupă poziţia S. Prizele 1 şi 2 sunt acum scurtcircuitate prin cele două rezistente R, legate în serie. Apoi contactul S_c ocupă o poziţie intermediară între s şi k. Priza 1 este complet deconectată iar priza 2 este conectată cu neutrul prin rezistenţa R.

In poziţia finală a contactului S_c – poziţia K, priza 2 este complet conectată (rezistenţa fiind scoasă din circuit) selectorul W_{2c} se găseşte în poziţie simetrică faţă de contactul 2, iar contactul mobil al selectorului W_{1c} ocupă o poziţie între contactele 1–3. Trecând la priza următoare, contactele rotative ale comutatoarelor PR trebuie să efectueze o mişcare inversă de la poziţia K la poziţia p.

Acţionările comutatoarelor de lucru PR trebuie să fie cu acţiune rapidă; rezistenţele ohmice prevăzute aici pot fi supuse unor încălziri excesive sau se pot arde.

Intervalul între un ciclu de comutare şi cel următor poate fi de ordinul 4...10 sec, este deci necesar ca rezistenţele să se răcească în acest timp.

De aici rezultă că timpul pentru comutatorul de lucru trebuie să fie scurt, variind în general între 0,04 şi 0,06 sec.

In cazul unui dispozitiv de reglaj cu limitarea curentului prin inductanţe, bobina de reactanţă poate fi dimensionată pentru curentul nominal şi problema încălzirii nu se mai pune; în consecinţă nici prevederea de comutatoare cu acţionare rapidă nu mai este obligatorie.

Comutatorul tip III Jansen este indicat pentru tensiunea 6...110 KV şi pentru curenţi până la 1000 A;

Se pot întâlni însă şi execuţii care depăşesc aceste limite de tensiune şi curent.

11.2. Tubulatura de expansiune

Pentru protejarea cuvei şi a radiatoarelor împotriva suprapresiunilor interne care se pot creea, ca urmare a degajărilor de gaze rezultate din descompunerea materialelor izolante sau a uleiului sub acţiunea arcului electric, se montează deasupra cuvei supapa de siguranţă numită şi ţeava de expansiune.

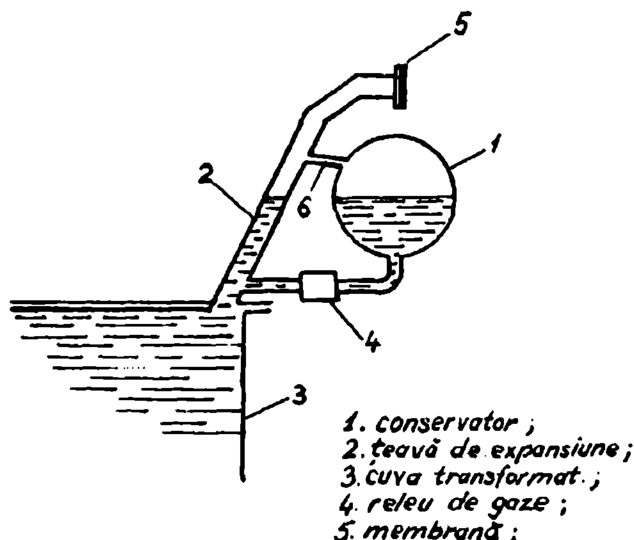


Figura 41.

Aceasta are o înclinaţie faţă de cuvă pentru ca la acţionare, uleiul să fie evacuat în afara transformatorului.

In interiorul ţevii de expansiune se montează o diafragmă din tablă subţire de cupru sau alamă dimensionată corespunzător, faţă de presiunea pe care o suportă cuva.

Pentru a preveni spargerea membranei la variaţia nivelului de ulei (comprimara sau rarefierea aerului din ţeavă cuprins între suprafaţa uleiului şi membrană) spaţiul dintre membrană şi ulei se pune în legătură cu conservatorul printr–o ţeavă subţire de egalizare Fig.41

11.3. Conservatorul de ulei. Filtrul de aer.

Conservatorul de ulei este un rezervor aşezat deasupra capacului transformatorului şi care comunică cu cuva printr–o conductă cu mică înclinare (spre conservator) pentru a asigura circulaţia gazelor (eventual a aeruuil) din transformator în conservator.

Conservatorul asigură menţinerea în stare plină a cuvei şi preia variaţiile de volum ale uleiului produse de temperatura transformatorului (temperatura cea mai scăzută când transformatorul este deconectat în timpul cel mai friguros al anului şi temperatura maxim admisibilă a

uleiului).

In contact cu aerul uleiul cald se oxidează.

Pe de altă parte, uleiul absoarbe umezeala din aerul cu care vine în contact.

Conservatorul reduce suprafaţa de ulei în contact cu aerul, iar temperatura uleiului din conservator este net inferioară temperaturii uleiului din cuvă.

In aceste condiţii procesul de oxidare şi de absorbţie a umidităţii se produc mult mai lent.

11.4. Releul de gaze.

Cunoscut şi sub denumirea de releul Buchaltz, asigură protecţie transformatorului împotriva defectelor interne. Funcţionarea releului se bazează pe principiul că orice defect care se produce în transformator (defectarea izolaţiei principale sau a izolaţiei între spire, defectarea miezului etc.) formează centre locale de temperatură ridicată, provocând în locul respectiv descompunerea uleiului, care este însoţită de gaze ca produse ale descompunerii.

Releul de gaze este amplasat pe conducta de legătură între cuvă şi conservator.

In interior, releul are două plutitoare:

– plutitorul superior coboară în cazul când în releu se adună o anumită cantitate de gaze închizând totodată contactele cu mercur care dau semnalizare;

– plutitorul inferior, montat între intrarea şi ieşirea uleiului din releu şi reacţionează atunci când viteza fluidului prin releu depăşeşte o anumită viteză; aceasta se întâmplă când apare un defect important în transformator care produce brusc o degajare mare de gaze. Contactul cu mercur legat cu plutitorul inferior, dă declanşarea transformatorului pe toate tensiunile.

Plutitorul inferior reacţionează şi în alte cazuri în afara defecţiunilor în bobinaje:

– scăderea nivelului uleiului în releu sub plutitorul inferior;

– neevacuarea la timp a aerului colectat în releu, care conduce la scăderea nivelului de ulei în releu etc.

12. PROTECTIA ULEIULUI IN TRANSFORMATOR

Caracteristicile izolante ale uleiului se înrăutăţesc în timpul funcţionării sub influenţa a doi factori: umiditatea şi oxigenul.

In consecinţă metoda cea mai simplă de protecţie a uleiului este izolarea lui de influenţa atmosferei.

La majoritatea transformatoarelor rolul de protecţie este asigurat de conservator.

Influenţa umidităţii atmosferice poate fi eliminată parţial prin introducerea pe ţeava de legătură între conservator şi mediul înconjurător a unui dispozitiv în care aerul trece printr–un strat care absoarbe umiditatea numit filtrul de aer (fig.42)

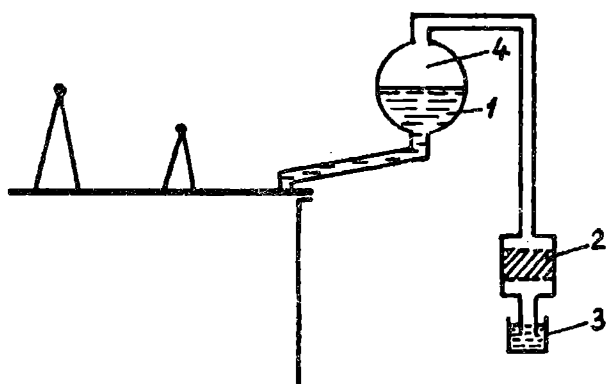


Figura 42

Ca material absorbant se foloseşte gelul de siliciu numit silicagel în adaos cu clorură de calciu şi întotdeauna cu un mic adaos de clorură de cobalt, care dă silicagelului uscat o culoare albastră.

Sub influenţa umidităţii absorbite, această culoare se schimbă în roşu.

Caracteristicile higroscopice ale silicagelului pot fi regenerate, încălzindu–l la 400°–500°C până când capătă iarăşi culoarea albastră.

Eficienţa filtrelor este pusă sub semnul întrebării prin faptul că, în timpul unei ceţe dense se poate satura rapid cu umiditate.

ne mai îndeplinindu-și rolul.

Filtrele cu silicagel rețin umezeala din aer dar nu înlătură absorbția oxigenului. Din acest motiv se întrebuințează din ce în ce mai frecvent construcții care preîntâmpină orice contact între uleiul transformatorului și atmosferă.

O metodă larg răspândită constă în folosirea în conservator a unei despărțituri pentru ulei (Fig.43)

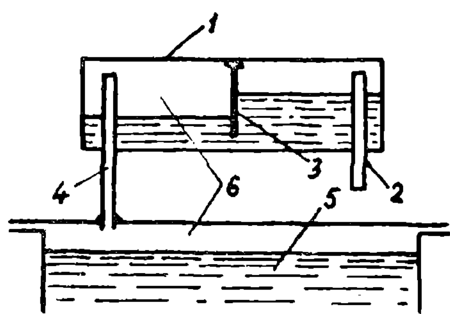
Conservatorul este legat de transformator printr-o țeavă de oțel și împărțit în două printr-un perete despărțitor.

In partea de jos a conservatorului este prevăzută o deschizătură prin care uleiul poate să treacă dintr-o parte în alta a conservatorului.

Cuva nu este complet umplută cu ulei, în partea superioară a cuvei se introduce un gaz inert (azot) care umple deasemeni prin țeava de legătură și spațiul din stânga al conservatorului; camera din dreapta a conservatorului este pusă în legătură cu aerul.

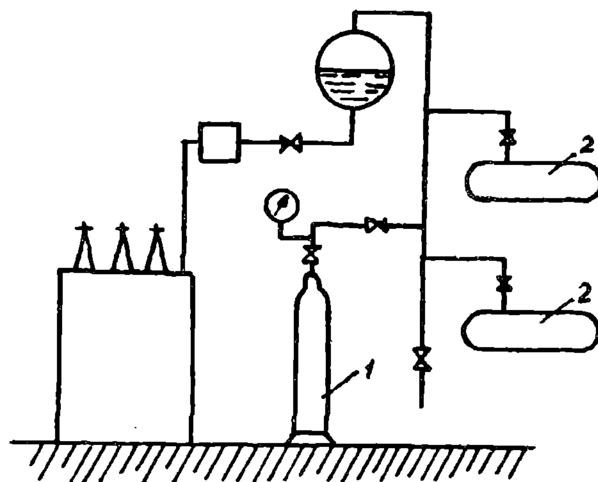
La creșterea temperaturii uleiului din cuvă, uleiul din conservator este împins din camera din stânga în camera din dreapta prin deschizătura din peretele despărțitor; la scăderea temperaturii uleiului, procesul se produce în sens invers.

Azotul din transformator vine în contact numai cu uleiul din conservator așa încât pătrunderea umidității și a oxigenului din atmosferă în uleiul transformatorului nu este posibilă.



1. conservator cu 2 camere ;
2. intrarea aerului ;
3. despărțitură ;
4. legătură între conservator și transformator ;
5. ulei în cuva transformatorului;
6. spațiu umplut cu azot .

Figura43



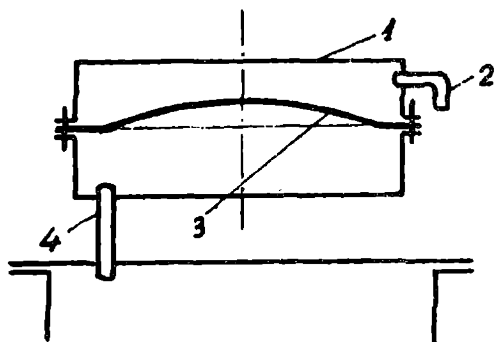
1. butelie de azot ;
2. recipienți elastici .

Figura 44

O altă soluție pentru protecția uleiului, folosită la transformatoarele de putere mare, constă în folosirea conservatorului obișnuit, dar pus în legătură nu cu atmosfera, ci cu o butelie de azot și cu rezervoare elastice de egalizare (Fig.44)

Variațiile de presiune ale gazului, ca urmare a variațiilor de temperatură ale uleiului în cuva transformatorului sunt preluate de rezervoarele elastice. Exploatarea de lungă durată a diferitelor metode de protejare a uleiului din transformatoare, a condus la concluzia că protecția de azot asigură cel mai bine menținerea calității uleiului; procesul de îmbătrânire este mult mai lent față de metoda cu conservator obișnuit.

In prezent a căpătat o utilizare largă o altă metodă de protejare a uleiului din transformator constând în izolarea lui față de influența atmosferei printr-o membrană elastică din material plastic (Fig.45)



1- conservator ;
2- intrarea aerului ;
3- membrană elastică din material plastic ;
4- țeavă de legătură între transf. și conservator.

Figura 45

Simplitatea construcției și a deservirii în timpul exploatării face ca acest mod de protecție a uleiului să reprezinte o soluție superioară față de celelalte soluții folosite.
Din acest motiv protejarea uleiului din transformator cu membrană elastică capătă o utilizare din ce în ce mai largă.

13. Preluarea în exploatare a transformatorului.

Inainte de punerea în funcțiune a transformatorului după terminarea montajului se execută următoarele:

– verificarea montării corecte a transformatorului a accesoriilor, a instalațiilor de răcire, protecție, măsură, control;

– verificări, măsurători, probe prevăzute în prescripțiile tehnice, care să ateste calitatea montajului și corectitudinea reglajelor efectuate.

Se are în vedre în principal:

– funcționarea corectă a sistemelor de răcire (pompe de ulei, ventilatoare de aer, armături etc.) precum și a instalațiilor de semnalizare a ieșirii din funcțiune;

– realizarea reglajelor corespunzătoare la instalațiile de protecție și control;

– asigurarea mijloacelor pentru urmărirea temperaturii ueliului în toate punctele indicate în documentația transformatorului și realizarea semnalizării la atingerea temperaturii maxime admisibile;

– existența dispozitivelor pentru urmărirea nivelului uleiului în conservator și în izolatoarele de trecere și a existenței marcajelor necesare pentru efectuarea acestui control;

La cele cu indicator magnetic al nivelului de ulei, se marchează nivelul maxim și minim;

– asigurarea înclinației de 2–4% a conductei de ulei de la cuva transformatorului spre conservator pe care de altfel se montează releul de gaze;

– asigurarea înclinației în sus a capacului, în direcția releului de gaze cu 1–1,5%(prin construcție sau prin montaj);

– existența instalațiilor de stins incendiul fixe și mobile în conformitate cu normativele;

– existența împrejmuirilor, acceselor asigurate, marcajelor, inscripționărilor și inscripțiilor specifice;

– existența filtrelor cu silicagel sau alte dispozitive de protecție a uleiului din transformator;

– fixarea roților cuvei și realizarea rigidizării antiseismice etc.

14. Exploatarea transformatoarelor

Pentru ca transformatorul să aibă o durată de funcționare normală, trebuie respectate în timpul funcționării o serie de reguli care să evite îmbătrânirea prematură a izolației și a pătrunderii umidității în transformator.

– Tensiunea rețelei nu trebuie să depășească 10% tensiunea prizei pe care funcționează transformatorul;

– Temperatura de funcționare admisă la transformatoarele cu ulei sunt:

ulei – maxim 100^o C;

înfășurări maxim 105^o C;

în condițiile în care temperatura aerului de răcire nu depășește 40^o C.

In cazul în care temperatura aerului depășește valoarea admisă cu până la 5^o C, temperaturile maxime admise pentru ulei și înfășurări se reduc cu 5^o C, iar dacă depășirea este cuprinsă între 5 ^{o}C și 10^o C, temperaturile admise se reduc cu 10^o C.

– Nivelul uleiului în transformator, în funcție de temperatura mediului exterior, se supraveghează la indicatorul de nivel (sticlă de nivel sau alt dispozitiv) pe care se indică nivelurile corespunzătoare unor temperaturi ale mediului exterior de: –35^o C; +15^{o}C; +35^{o}C.

– In caz de avarii cu aprobarea conducătorului tehnic al unității, se admite funcționare cu suprasarcină a transformatorului conform tabelului 2.

Tabel 2

Suprasarcină %	30	60	75	100	140
Durata minute	120	30	15	7,5	3,5

Supravegherea funcționării transformatorului se face:

a) Supraveghere curentă asigurată prin personalul permanent de exploatare și se referă la:

– gradul de încărcare;
– tensiuni, curenți;
– sarcini active, reactive, frecvență;
– temperaturi;
– instalațiile de răcire;
– efluvii (descărcări) pe timp de ceață.

b) Supravegheri periodice prin examinare vizuală la care se verifică:
– starea cuvelor și a circuitelor de ulei (integritate, etanșare etc.)
– nivelul uleiului în transformator;
– starea instalațiilor de protejare a uleiului din conservator (filtre cu silicogel, dispozitive cu azot, membranele de separare a uleiului în conservator etc.)
– starea izolatoarelor (dacă nu se produc pe ele efluvii, dacă au urme de conturare, fisuri, murdărire etc.);
– zgomote produse și caracterul acestor zgomote;
– buna funcționare a sistemelor de răcire;
– starea împrejmuirilor (încăperilor), accese, închideri, iluminat, curățenie etc.;
– starea legăturilor la pământ, de protecție sau de exploatare;
– starea instalațiilor de protecție, control, măsură etc.

Periodicitățile pentru supraveghere și control sunt stabilite în Regulamentul de Exploatare Tehnică (în funcție de organizarea exploatării, cu personal permanent de exploatare

sau fără personal permanent).

c) Controale neperiodice care se efectuează cu ocazia unor evenimente deosebite:
- incidente sau avarii;
- fenomene sau manifestări deosebite etc.

La intervale mai mari (prevăzute în norme) se verifică:
- reglarea şi funcţionarea protecţiei prin relee (inclusiv releul de gaze);
- calităţile electrice şi fizico-chimice ale uleiului din transformator şi comutatorul de ploturi;
- funcţionarea dispozitivului de acţionare a comutatorului de reglaj a tensiunii.

Dacă se constată abateri de la prevederile RET sau de la instrucţiunile de exploatare, se determină cauzele şi în funcţie de gravitatea acestora, se iau măsuri de remediere; în cazul în care situaţia o impune,se scoate transformatorul de sub tensiune şi se fac măsurările necesare.

15. Defecte şi regimuri anormale de funcţionare

După natura şi cauza lor, defectele la transformator se manifestă prin următoarele fenomene:
- supraîncălzirea transformatorului;
- zgomot anormal în transformator;
- trosnituri în interiorul transformatorului;
- străpungerea izolaţiei şi întreruperea înfăşurărilor;
- funcţionarea protecţiei de gaze, etc.

15.1. Supraîncălzirea transformatorului poate fi cauzată de:

- supraîncărcarea transformatorului;
- funcţionarea defectuasă a instalaţiilor de răcire;
- depăşirea temperaturii aerului în camera de lucru a transformatorului peste valoarea admisă;
- defecte interioare în transformator, scurtcircuite între spire, între faze, scurtcircuite datorate deteriorării izolaţiei buloanelor care strâng miezul (tolele) transformatorului, scurtcircuite între tole. Numai intensificarea acestor defecte conduce la creşterea rapidă a temperaturii uleiului;
- dacă sunt transformatoare care funcţionează în paralel, se poate întâmpla ca *supraîncălzirea să fie cauzată de diferenţa între rapoartele de transformare (funcţionarea pe* prize diferite cu comutatoarele de ploturi), caz în care apare un curent de egalizare. In srcină, transformatorul a cărei tensiune secundară la funcţionarea în gol este mai ridicată va prelua o sarcină mai mare.

Se identifică cauza supraîncălzirii şi în funcţie de aceasta se iau măsuri corespunzătoare:
- reducerea sarcinii;
- punerea în funcţiune a instalaţiei de răcire;
- aducerea pe acelaşi plat a comutatoarelor etc.

In cazul în care se depăşesc limitele maxime admise ale temperaturii uleiului sau ale înfăşurărilor, se scoate din funcţiune transformatorul şi se remediază defecţiunea.

Dacă cauza încălzirii este un defect în transformator, se opreşte imediat transformatorul şi se repară.

15.2. Zgomot (bâzâit) anormal în transformator poate fi determinat de următoarele cauze:

– slăbirea strângerii tolelor miezului;
– supraîncărcarea transformatorului sau sarcina pe fază este deosebit de nesimetrică;
– tensiunea de funcționare ridicată;
– scurtcircuite între spire sau faze.

In funcție de cauza care produce zgomotul anormal se iau măsuri de remediere: înlăturarea suprasarcinii sau reducerea nesimetriei, scăderea tensiunii la valoare normală, refacerea strângerii miezului magnetic, repararea înfășurărilor etc.

15.3. Trosnituri în transformator

Poate să se producă când apar conturnări (însă nu străpungeri) între bobine sau între capetele de ieșire și cuvă;

– întreruperea legăturii la pământ prin capac și cuvă a oțelului masiv și a altor piese ale circuitului magnetic al transformatorului.

Se verifică și funcție de cauza care produce aceste zgomote (sub formă de trosnituri) se reface izolația părților sub tensiune sau legarea la pământ, după caz.

15.4. Străpungerea izolației înfășurărilor și întreruperii în înfășurări

Cauzele pot fi:

– supratensiuni datorită descărcărilor atmosferice, avariilor sau proceselor tranzitorii;
– deteriorarea calității uleiului (umezire, impurificare, îmbătrânire etc.);
– scăderea nivelului uleiului;
– îmbătrânirea izolației;
– eforturi electrodinamice la scurtcircuite, etc.

Se determină cauza prin măsurători de izolație, de continuitate, de rezistențe ohmice a înfășurărilor, analiza compoziției gazului din releul de gaze și se remediază defectul.

15.5. Funcționarea protecției de gaze.

In funcție de intensitatea degajării de gaze protecția acționează la semnalizare sau la declanșarea de la rețea a transformatorului.

Dacă releul a acționat la semnalizare, înseamnă că în interiorul lui au apărut defecte mici, care au condus la degajare slabă de gaze sau a scăzut nivelul de ulei datorită scăderii temperaturii sau apariția unor neetanșeități.

Semnalizarea poate fi și ca urmare a colectării în releu a aerului pătruns în transformator la umplerea sau curățirea uleiului.

In cazul producerii unui scurtcircuit între faze, care a evoluat foarte rapid (străpungerea izolației) protecția de gaze acționează la declanșare. Defectul poate fi însoțit și de aruncarea uleiului din conservator sau prin supapa de siguranță (țeava de expansiune)

Deoarece semnalizarea releului de gaze poate fi provocată de cauze foarte diferite, înainte de a trece la înlăturarea defectului, este necesar să se stabilească cauza care a produs acționarea releului de gaze.

Pentru aceasta se face analiza gazelor colectate în releu,inflamabilitate, culoare, compoziție chimică etc.

Inflamabilitatea gazelor denotă prezența unui defect în interior. Dacă gazele sunt incolore și nu ard, cauza acționării releului este aerul degajat din ulei.

Culoarea gazului poate da indicații asupra naturii defectului: culoarea alb–gri se datorează hârtiei sau cartonului, galben–lemnului, negru–uleiului.

Analiza gazelor, completată cu efectuarea măsurărilor transformatorului, conduce la determinarea defectului şi în consecinţă la stabilirea lucrărilor de remediere.

Verificat: dr.ing.Popa Teodor

BIBLIOGRAFIE

Fransua, Al şi colectiv	Maşini electrice uzuale exploatare şi regimuri de funcţionare, Editura Tehnică, Bucureşti 1973
Gheorghiu I.S.	Maşini electrice, Editura Ministerului Invăţământului şi Culturii, Bucureşti 1958
Gheorghiu I.S.	Maşini electrice, probleme şi aplicaţii industriale, Editura Tehnică, Bucureşti 1966
Jezievschi E şi colectiv	Transformatoare electrice, construcţie şi proiectare, Editura Tehnică, Bucureşti 1966
Calin Sergiu	Protecţia prin relee a sistemelor electrice, Editura Tehnică, Bucureşti 1975
Grudinschi P.G	Exploatarea Tehnică a Centralelor şi staţiilor Electrice, Editura Energetica de Stat 1952
Ministerul Energiei Electrice	Regulament de Exploatare Tehnică a Centralelor Electrice şi a Reţelelor Electrice, ICEMENERG 1987